

焊接学会 第 XIIa 专业分委员会
数值分析、CAD/CAM 研究组

“焊接专家系统”专题学术会议 论文集

1989. 11. 北京

压力容器缺陷评定规范CVDA-84咨询专家系统的研制

陈丙森 何利力 齐占月

清华大学机械系

一九八九年七月

摘 要

本文介绍了“压力容器缺陷评定规范 CVDA-84”计算机咨询系统原型的研制。本系统可以在 IBM-PC 及其兼容机上在 GCDOS 2.0以上操作系统支持下运行。本系统可以为结构进行脆断安全评定、允许裂纹尺寸、允许使用应力、疲劳裂纹扩展、结构使用寿命预测以及选材等方面提供咨询。本系统原型将准备发展为实用系统。在开发这一系统时曾先后使用了GCLISP、Turbo -PROLOG和BASIC 语言,比较了它们对开发类似的工程用专家系统的适用性和优缺点,为今后开发类似的专家系统积累了经验。

✱ 本课题为国家自然科学基金资助项目。

一. 问题的提出

随着各类压力容器的广泛使用,对压力容器进行安全评定以保证其安全使用,在工程上有着十分重要的意义。利用断裂力学的成果,十多年来,国内外在大量研究工作的基础上逐步形成了许多“合乎使用条件”的压力容器安全评定规范[1][2]。依据这些规范对新投产的或在役的压力容器进行安全性评估,既保证了压力容器的安全,又不致于对压力容器提出过高的要求,这在许多工程实践中已经取得了巨大的经济效益。

尽管对压力容器的安全评定已经有了若干规范可以依循,但在具体的工程评定中因为要涉及到断裂力学、材料科学、容器设计、容器制造工艺,包括焊接、装配等多方面的专门知识,所以,实际上只有一些有经验的专家才能灵活而又正确地使用各种安全规范。

近十年来,由于计算机科学的迅猛发展,对于人工智能的研究已达到实用

阶段。计算机硬件的发展使得微型计算机已经达到了普及的程度。在计算机软件方面,除了出现了多样化的高级语言,使得编程可以大大简化以外,发展了人工智能型程序设计语言LISP, PROLOG等。这样,人工智能在专家系统这一分支方面得到了广泛应用,并获得了显著的经济效益。专家系统就是将某一专门领域的大量数据、书本知识以及有关专家的经验汇集到计算机软件中,这种软件就可以对这一专门领域的问题象有丰富经验的专家一样进行咨询、判断和决策[3]。就“压力容器安全评定”这一工程技术问题来说现在已经到了需要而且可能建立“专家系统”的时候。

根据劳动安全部门的要求,目前我国每年需要复验的正在使用的重要压力容器数以千计。这些容器能否继续使用,或者需要什么类型的修理,都需要依据有关规范进行认真的评定。如果加上新投产的压力容器需要进行监检,其工作量是非常大的。我们设想如能建立比较完善的压力容器安全评定专家系统,就有可能为压力容器用户提供初步的安全评定的信息,也可以为劳动安全部门在对压力容器进行监检时提供必要的资料。正象任何专家系统都不能完全代替人类专家一样,我们也不能要求有关压力容器安全评定专家系统完全代替这方面的人类专家,但是我们相信这样一个专家系统也会对这方面的专家在评定压力容器安全性有很大的帮助。

事实上,国外已经有了正在建立类似的专家系统的报道。英国中央电力局CEGB在1986年提出了“有缺陷结构完整性评定标准”(R/H/R6)的第三版[4],新版的R6双判据法评定标准集中了近年来断裂力学的最新成就,其中也吸收了80年代初期美国电力研究院EPRI提出的弹塑性J积分工程分析方法[5]的优越性和实践经验。尽管R6方法的新版中各种规定是明确的和详尽的,但要全面掌握它的细节并不容易,所以,CEGB为配合R6的使用提出了配套的软件ADISC及FRACTURE.ONE等作为计算机辅助计算之用,并准备进一步扩充为FRACTURE.TWO程序。在文献[6]中还提到了在美国对于管道断裂评定的PRAISE以及用于压力容器断裂评定可以VISA-II等专家系统研制的情况。考虑到在我国CVDA-84公布以来,已在工程实践中取得了不少经验,尽管这一缺陷评定规范不够精确、偏于保守,我们仍然选择CVDA-84作为建立压力容器安全评定专家系统的基础,这样可以比较适合我国的实际情况。

二. CVDA-84规范咨询系统的主要功能

CVDA-84主要为钢制压力容器提供了一个防止脆断和疲劳破坏的“合乎使用条件”的安全评定方法。对泄漏、塑性变形、应力腐蚀、腐蚀疲劳、蠕变和蠕变疲劳只给出了一般性的指导原则。所以本系统也主要是针对脆断和疲劳的

安全性提供咨询, 对其他的失效形式只根据 CVDA-84给出的原则加以说明(见图1)。

脆断评定就是根据断裂力学建立的缺陷尺寸、所承受的应力或应变以及材料断裂韧性三个参量之间的关系判断结构的安全性。安全评定人员往往希望在知道三个参量中某两个参量的条件下定量地求得另一个参量的具体数值, 即求得允许的裂纹尺寸或允许的外载应力或选用材料所必需的力学性能。在疲劳评定的条件下, 评定人员除了要求得到在一定的循环次数以后裂纹扩展量的大小, 还希望得到结构使用寿命的估计。这些功能可以通过本系统中相应的菜单进行选择, 在相应的子程序中得到实现(见图2), 这样的处理比 CVDA-84中的说明更清晰。为使得安全评定工作得到正确的结论, 用户需要根据 CVDA-84的要求提供有关基本资料和数据。基本资料应力求完善, 有关数据的选取也是一项非常慎重的工作。这方面的工作在本咨询系统中由相应的子程序提供指导性的意见(见图1)。例如, 对于材料常规力学性能和断裂韧性数据的选取, 在本系统中除了根据 CVDA-84所提到的一些途径外, 还提供了得到有关数据的其他途径(见图3)。这些数据也可以在安全评定时作为参考。

评定终了时本系统将在显示器屏幕上给出评定结果, 并且可以由打印机打出评定结果。图(4)给出了脆断评定后打印输出的例子, 打印表格中给出了有关的原始数据(输入部分)以及评定的结果。

为了便于使用, 本系统包括有关于评定的解释部分(EXPLAIN)以及关于程序运行的求助部分(HELP)。本系统无论在主程序中以及各子程序中均在汉字状态下运行。本系统有较好的适应性, 在具有一般彩色显示器的 IBM PC/XT 或 AT及其兼容机上, 在 GCDOS 2.0 以上版本的支持下即可运行。

三. 问题及展望

(1)专家系统的开发总是开始于建立一个原型(Prototype), 原型是一个比较小型的能处理指定的实际问题提的一个示范性程序。这个程序可以完成几个测试例子, 以证明建立这一专家系统的可行性, 并可以作为一个研究原型, 以通过专家和用户的测试, 提出问题, 找出矛盾, 使这一系统可以不断地改进和完善。现在CVDA-84 咨询系统已形成原型, 希望通过专家和用户的测试, 补充和修正知识库的内容, 调整和改进人机对话的接口, 争取在短期内能够形成产品模型乃至符合实用的系统。

(2)在开发专家系统时要解决的难题之一就是选择合适的计算机语言和专家系统工具。实际上现在常用的各种计算机高级语言都可以用来实现专家系统,

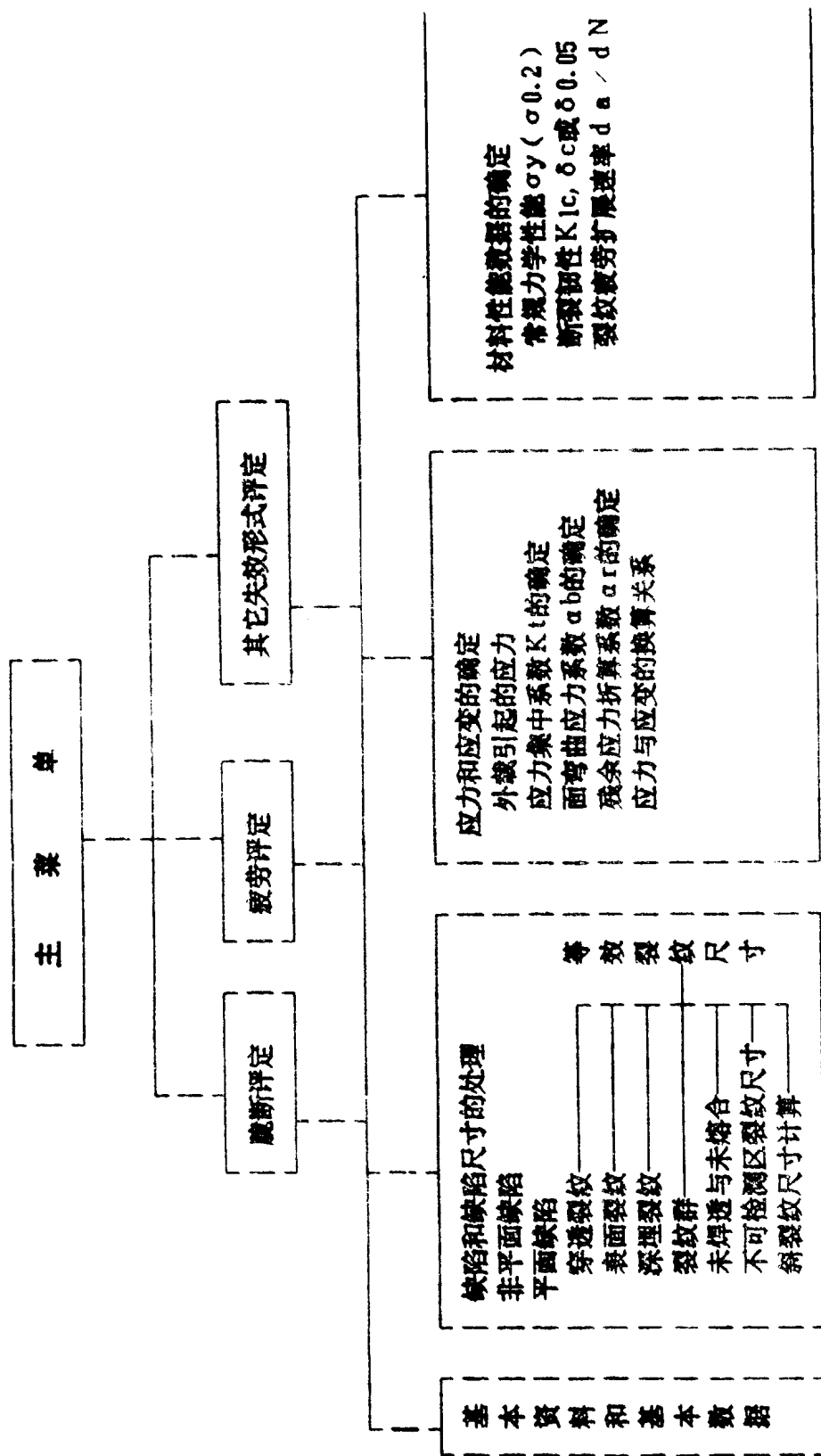


图1 CVDA-84 咨询系统主要功能

您准备进行评定的内容是:

脆断评定

评定结构的安全性
应力强度因子法
COD法
确定允许裂纹尺寸
确定允许外载应力
确定选用材料必需的力学性能

疲劳评定

裂纹扩展量计算
穿透裂纹
深埋裂纹
表面裂纹
结构使用寿命估算

图2. 脆断评定和疲劳评定菜单

常规力学性能 σ_y ($\sigma_{0.2}$), σ_u 的确定

按GB 228-76实测所得
按本规范中附录E由硬度换算所得
由有关手册提供的数据

断裂韧性值 K_{IC} , δ_c 或 $\delta_{0.05}$ 的确定

K_{IC} 的确定

按GB 4161-84实测所得
按GB 2358-80测定 $\delta_{0.05}$ 后换算所得的 $K(\delta_{0.05})$
按GB 2038-80测定 $J_{0.05}$ 后换算所得的 $K(J_{0.05})$
根据PD 6493-80建议的, 由 C_v 估算所得的 K_{IC}

δ_c 的确定

按GB 2358-80测定得到的 δ_i
按GB 2358-80测定得到的 $\delta_{0.05}$
按GB 2358-80测定得到的 δ_r 曲线上协商选取的 δ_r
由GB 2358-80测定得到的 δ_m
由CVDA-84建议的小厚度试样测得的 $\delta_{0.05}$
由WES 2085建议的由 C_v 估算得到的 δ_c
按本规范中附录D多剖面法测定得到的 $\delta_{0.05}$

图3 系统中有关材料性能数据的输入形式

评定内容：按COD法进行脆断安全性评定					
材料及其性能：					
钢材牌号	抗拉强度 MPa	屈服强度 MPa	弹性模量 N/mm ²	泊桑比	
断裂韧性COD $\delta(0.05) =$ mm					
缺陷性质和尺寸： 裂纹形式：表面裂纹					
裂纹深度 H = mm		裂纹长度 L = mm		材料厚度 t = mm	
简化后裂纹形式 表面裂纹	裂纹深度 a = mm	裂纹长度 2C = mm	等效裂纹长度 a = mm		
所承受的应力与应变：					
均匀分布的拉应力		面弯曲应力		残余应力	
$\sigma(t)$	应力集中系数	$\sigma(b)$	系数 $a(b)$	$\sigma(r) = \sigma(y)$	系数 $a(r)$
MPa		Mpa		MPa	
总应力 $\sigma =$ MPa					
总应变 $\epsilon / \epsilon_y =$					
根据CVDA—1984计算允许尺寸 $a(m) =$ mm					
$a(m) > a$ 安全					
评 定 说 明					
评定人	日期	年 月 日	审阅人	日期	年 月 日

图4. 脆断评定结果打印输出

但是通常认为 LISP 语言和 PROLOG 语言更适合于建立专家系统的工作。当然由于它们的特殊性为专家系统开发人员带来一定困难,我们在开发 CVDA-84 咨询系统时曾先后用 LISP 和 PROLOG 语言进行了探试性工作。

LISP 语言是已经有三十年历史的用途广泛的人工智能语言,现在已发展了许多版本。由于 CVDA-84 咨询系统需要在 IBM 微型机的汉字状态下实现,我们目前选用的是适合微机上使用的中英文兼用解释型 GCLISP (Gloden Common LISP),这种版本的 LISP 语言计算功能和图形功能都较差,而且和其它高级语言如 FORTRAN、PASCAL 等交互的接口功能也较差,这样在 CVDA-84 系统中需要解决图形显示和进行数字计算时就遇到了一定困难。同时使用这一版本开发的程序只能逐句进行解释而不能进行编译,加上这一版本汉化后丢失了某些原有英文版本的功能,这样尽管采取了许多措施克服了程序编制的困难,效果并不好,而且运行速度较慢。

PROLOG 语言自 73 年在法国提出以后,虽有一定特色,然而影响不大,但在日本于 1981 年宣布选用 PROLOG 作为计划中第五代计算机的基本系统语言后发生了很大变化。特别是在出现了可以在微型机上运行的编译型 Turbo-PROLOG 版本以后得到了广泛应用。我们用汉化了了的 Turbo-PROLOG 编写了 CVDA-84 咨询系统的原型。在开发本系统的过程中发现这一版本的 PROLOG 语言在计算、绘图以及其它语言的交互接口等方面都有较强的功能。PROLOG 语言中由于主要靠参数传递信息,当该参数被多次调用时,会形成许多不便,效率不高。在目前 CVDA-84 咨询系统原型中因涉及参量还不很多,所以这一缺点还不明显。

BASIC 语言近年来有了较大的发展,功能齐全,而且由解释型发展为编译型,运行速度大大加快。美国斯坦福大学研制的 PUFF 系统(一种用于诊断肺部不正常现象的专家系统)就是先用基于 INTERLISP 的 EMYCIN 专家系统工具开发以后又用 BASIC 改写的[7]。就 CVDA-84 咨询系统的程序编制而言,因涉及到比较多的数字计算和图形处理,而它的逻辑推理并不复杂,所以,我们用 BASIC 语言重新编写了 CVDA-84 系统,得到了较好的效果。

总之,在开发专家系统时选择合适的计算机语言十分重要。随着专家系统日益广泛的应用,已经出现了一批专为开发专家系统的工具,这些工具可以大大简化开发专家系统的过程,减少不必要的重复劳动,但是要选择适合我们要求的开发工具也是非常困难的事。一个通用性、灵活性较强的专家系统开发工具的价格为数千至数万美元,而且要经过汉化以后才能用于我们的任务。所以,看来在短期内用专家系统工具开发我们关心的专家系统的可能性不大。

(3)如前所述,英国 CECB 已公布了 R6 第三版。在它的影响下英国标准学会(BSI)制定了 BS PD 6493-87 修改版[8]。这两种版本与美国 EPRI 的 J 积分工程评定方法相互借鉴、相互补充,值得重视。如果能在近期内开发和这几

种新的安全评定标准相应的汉字化了的安全评定专家系统,相信能促进有关工程技术人员熟悉安全评定方法的最新成就,从而推动我国安全技术的发展。

四. 结论

(1)建立了“压力容器缺陷评定规范 CVDA-84咨询专家系统”的原型,这一系统可以为结构进行脆断评定、允许裂纹尺寸、允许使用应力、疲劳裂纹扩展、结构使用寿命预测以及选材等方面提供咨询。

(2)在开发“CVDA-84咨询系统”时先后试用了 GCLISP、Turbo-PROLOG和 BASIC 语言,比较了它们对于开发类似的工程用专家系统的适用性和优缺点,为今后开发类似的专家系统积累了经验。

(3)“CVDA-84咨询系统”经过测试和改进将发展为实用的专家系统。

(4)鉴于 R6 和 PD-6493最新修订版的公布,应该在“CVDA-84咨询系统”的基础上开发能反映结构断裂安全评定最新水平的专家系统。

参 考 文 献

- [1] 荆树峰等译, 国外压力容器缺陷评定标准. 劳动出版社, 1982.
- [2] 中国压力容器学会, 中国化工机械与自动化学会, 压力容器缺陷评定规范 CVDA-1984 压力容器 1985 年第一期 pp.2-21
- [3] Jones, J.E., Turpin, W., Developing an Expert System for Engineering. Computers in Mechanical Engineering. Nov. 1986. pp.10-16
- [4] Milne, I., et al. Assessment of the Integrity of Structure Containing Defects. "R/H/R6-Rev.3". 1986.
- [5] Kumar, V., et al. An Engineering Approach for Elastic-Plastic Fracture Analysis. General Electric Company. 1981.
- [6] Fong, J.T., Bernstein, B. Building a PC-based Knowledge Base for Improving NDE Reliability. VI International Conference "Pressure Vessel Technology" Sept.1988.
- [7] 陈世福, 潘金贵等编, 知识工程语言与应用. 南京大学出版社 1989
- [8] BSI, "Draft Revision of Section 2 in PD 6493 Assessment for Fracture". 1987.

会议论文集目录

- | | | | |
|-----------------------------|---------|-----|-----|
| 1. 焊接结构残余应力与变形计算机预测系统 | 上海交通大学 | 陈楚 | 汪建华 |
| 2. 焊接冷裂纹的计算机辅助评定(专家系统雏型) | 上海交通大学 | | 汪建华 |
| 3. 铝合金焊接工艺专家系统LWES-01 | 哈尔滨工业大学 | | 武传松 |
| | | 吴林 | 罗剑峰 |
| 4. 基于工艺评定的焊接专家系统的研制 | 清华大学 | 陈丙森 | 何利力 |
| 5. 用于焊接工艺选择的计算机专家系统QHWELD-1 | 清华大学 | 贾凯 | 施克仁 |
| 6. 焊接工程计算机专家系统的程序设计 | 清华大学 | 施克仁 | 方立荣 |
| 7. 用 LISP 语言编写的焊接材料选择专家系统 | 清华大学 | 施克仁 | 方立荣 |

论文集出版说明:

焊接学会第Ⅲa专业分委员会和数值分析、CAD/CAM 研究组在1988年各自的年会上,分别提出召开一次“焊接专家系统”专题学术会议的建议。这个建议得到了有关专家的热心支持,经过近一年的准备,这个会议现在终于召开了。会议秘书组原希望能将会议论文统一印刷,装订成册,但因时间紧迫,许多论文作者未能于会前将论文交来,所以只能将已收到的论文汇集印发,其它论文由有关作者带到会议上来交流。特此说明。(会议交流论文总目录见下页)

“焊接专家系统”专题学术会议秘书组

1989年11月15日

会议交流论文目录

- | | | |
|--------------------------------|-----------|------|
| 1. 焊接冷裂纹的计算机辅助评定 (专家系统雏型) | 上海交通大学 | 汪建华 |
| 2. 焊接结构残余应力与变形计算机预测系统 | 上海交通大学 陈楚 | 汪建华 |
| 3. 铝合金焊接工艺专家系统LWES-01 | 哈尔滨工业大学 | 武传松 |
| | 吴林 | 罗剑峰 |
| 4. 苏联数值分析方法在焊接中的应用概况 | 哈尔滨焊接研究所 | 周昭伟 |
| 5. 基于工艺评定的焊接专家系统的研制 | 清华大学 陈丙森 | 何利力 |
| 6. 用于焊接工艺选择的计算机专家系统QHWEID-1 | 清华大学 贾凯 | 施克仁 |
| 7. 压力容器缺陷评定规范 CVDA-84咨询专家系统的研制 | 清华大学 陈丙森 | 何利力 |
| | 何利力 | 齐占月 |
| 8. 焊接工程计算机专家系统的程序设计 | 清华大学 施克仁 | 方立荣 |
| 9. 用 LISP 语言编写的焊接材料选择专家系统 | 清华大学 施克仁 | 方立荣 |
| 10. 焊接计算机软件及专家系统的发展 | 清华大学 陈丙森 | 彭金宁 |
| 11. | 甘肃工业大学 | |
| 12. 一个具有专家知识的焊接变压器 CAD系统 | 南昌航空学院 | 方宇洞 |
| 13. 焊接工艺编制专家系统 | 哈尔滨锅炉厂 | 陈裕川 |
| 14. 低氢焊条提高冲击韧性优化设计 | 天津大学 | 赵家瑞 |
| 15. 计算机辅助薄壁件的焊接 | 航天部 703所 | 高令俊 |
| 16. 微机控制管座自动焊设备与工艺的研究 | 郑州机械研究所 | 徐继达 |
| 17. 焊接瞬态热应变云纹图象的计算机处理技术的研究 | 航空部 625所 | 曹阳 等 |
| 18. 数据库和专家系统技术在焊接中的应用 | 哈尔滨工业大学 | 武传松 |
| | 徐健 | 吴林 |
| 19. 焊接工艺设计专家系统 AWES-02 | 哈尔滨工业大学 | 武传松 |
| | 徐健 | 吴林 |